

Cuad. Geol.	12	p. 5 - 15	3 figs. y 1 lám.	Universidad de Granada 1984-1985
-------------	----	-----------	------------------	-------------------------------------

## DETERMINACION DE CLORITAS EN ROCAS METAMORFICAS DE BAJO GRADO MEDIANTE PROPIEDADES OPTICAS

F: NIETO <sup>1</sup>

*Palabras claves:* Clorita; Bajo grado metamórfico, óptica; color interferencia

**RESUMEN.** La clorita es un mineral fundamental formador de rocas metapelíticas de muy bajo y bajo grado metamórfico. Sin embargo, el tamaño de grano y los finos intercrecimientos con micas no permiten los estudios ópticos detallados de las mismas. Por ello se proponen aquí criterios basados en observaciones ópticas muy simples, fundamentalmente color de interferencia y signo de elongación para conocer de forma aproximada la composición química y clasificación de las cloritas.

Se han estudiado 116 muestras correspondientes a las zonas internas de la Cordillera Bética. Su composición se ha determinado mediante microsonda electrónica y/o difracción de Rayos X. Los datos confirman, de acuerdo con Albee (1962), que la relación  $Fe/Fe+Mg$  es el factor determinante fundamental de las características ópticas de la clorita. La razón  $Si/Al$ , por sí sola, no ejerce una influencia real sobre las propiedades ópticas, siendo tan sólo aparente, puesto que ella a su vez depende de la relación  $Fe/Fe + Mg$ .

Por otra parte, la intensidad del pleocroísmo está relacionada asimismo con  $Fe/Fe + Mg$ . Se observan cuatro zonas composicionales de predominio de pleocroísmos fuertes y débiles. Dicha propiedad aporta, pues, un dato complementario para la determinación de la composición de la clorita.

Los criterios aquí propuestos permiten aplicar la clasificación de la AIPEA a cloritas de bajo y muy bajo grado de metamorfismo de forma simple y directa.

**ABSTRACT.** Chlorites are essential rock forming minerals in low and very low grade metapelites. Nevertheless their grain size and thin intergrowths with mica do not allow their optic accurate studies. Therefore determinations based on very simple observations, essentially interference colour and sign of elongation, are proposed, in order to try an approach to chemical composition and classification of chlorites.

116 samples of internal zones of Betic Cordillera have been studied. Their compositions have been determined by electron microprobe and/or X-rays diffraction. The data support the contention of Albee (1962) that the  $Fe/Fe + Mg$  ratio is the essential determining factor of the optic characteristics of chlorites. The  $Si/Al$  ratio in its own is not actually related to optical properties, it is only an apparent relation, since the former is in turn dependent on the relationship  $Fe/Fe + Mg$ .

On the other hand, pleochroism intensity is also related to  $Fe/Fe + Mg$ . Four compositional zones of alternately predominant weak and hard pleochroism are observed. So, this property gives complementary data to the determination of the composition of chlorites.

The proposed criteria permit the application of AIPEA classification to low and very low metamorphic chlorites in a simple and direct way.

<sup>1</sup> Departamento de Cristalografía y Mineralogía y Departamento de Investigaciones Geológicas del C.S.I.C. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada.

## INTRODUCCION Y ANTECEDENTES

A diferencia de otros filosilicatos, como las micas, las cloritas presentan propiedades ópticas notablemente sensibles a su composición. Dos elementos de polarizabilidades atómicas netamente diferentes, como es el caso de Fe y Mg, se sustituyen entre sí en una serie de solución sólida completa. Por otra parte, todo el grupo en general presenta diferencias muy pequeñas entre los tres índices de refracción, lo que da lugar a que los cambios de composición lleven consigo cambios, asimismo, en la situación de los índices dentro de la indicatriz, y por tanto en los signos óptico y de elongación. Estos cambios, además, no son simultáneos para todas las longitudes de onda, con la consiguiente aparición de toda una gama de tonos del color de interferencia en las zonas limítrofes al cambio de signo.

La información existente en bibliografía sobre las relaciones entre dichas propiedades y la composición de la clorita es bastante completa y exacta, si bien en algunos puntos, fundamentalmente la importancia de la influencia de la sustitución tetraédrica Si por Al, existen importantes divergencias entre los diversos autores. No obstante, a pesar de la abundancia de información sobre las propiedades ópticas de la clorita y de su carácter determinativo, su uso en la bibliografía petrográfica y mineralógica suele ser en general bastante escaso y en muchas ocasiones las descripciones de la clorita se basan en criterios y clasificaciones obsoletos.

Por ello, y aunque un resumen de las conclusiones más importantes se ha publicado previamente dentro de un estudio más general (Nieto y Rodríguez Gallego, 1983), se ha estimado conveniente elaborar este trabajo con el doble objetivo de confirmar la validez de

los antecedentes, y aportar nuevos datos que los complementan, haciéndolos más detallados. Finalmente se ofrecen criterios simples para la clasificación de cloritas en base a sus propiedades ópticas.

Entre los numerosos estudios que se han llevado a cabo para relacionar propiedades ópticas y composición química de cloritas, cabe citar aquí los de Orcel (1927); Winchell (1936); Serduchenko (1953); Hey (1954); Albee (1962); Deer et al. (1966) y Saggerson y Turner (1982). Hey (1954), presenta un gráfico análogo al de su clasificación de cloritas, en función del contenido en Fe y grado de sustitución tetraédrica Si por Al. En dicho gráfico se representa la relación de la composición química con el índice de refracción, la birrefringencia y el peso específico. Para dicho autor las propiedades ópticas son función en igual medida de la relación F/FM ( $\text{Fe} + \text{Mn}/\text{Fe} + \text{Mn} + \text{Mg}$ ) y del grado de sustitución Si por Al.

Albee (1962), por el contrario, no encuentra relación entre tales propiedades y la sustitución Si/Al, considerándolas como consecuencia casi exclusiva de la relación F/FM. El aumento de Fe va acompañado de un incremento de los tres índices de refracción, haciéndose, no obstante, cada vez menor la birrefringencia, llegando a alcanzar un valor 0 para una relación F/FM = 0,52. Para valores cercanos a ésta, la clorita es isótropa para determinadas longitudes de onda, presentando colores anómalos de interferencia. Por encima de F/FM = 0,52 se produce una inversión en la orientación de índices  $\alpha$  y  $\gamma$ , cambiando, pues, su signo óptico y de elongación y la birrefringencia se hace de nuevo cada vez mayor.

Saggerson y Turner (1982), llevan a cabo una

recopilación y nuevo tratamiento de los datos bibliográficos aportados previamente, intentando establecer criterios ópticos de clasificación. Dichos autores se inclinan por la hipótesis de la doble influencia Si/Al y F/FM.<sup>1</sup>

## MATERIAL Y METODOS

Se han estudiado 116 muestras, correspondientes a diversas rocas metamórficas y filonillos asociados dentro del ámbito de la Cordillera Bética. En la misma, las cloritas son un grupo de minerales muy frecuentes, que aparecen abundantemente en rocas de bajo grado de metamorfismo, fundamentalmente filitas y micaesquistos de grano fino, formando parte de la paragénesis fundamental de la roca. En la mayoría de los casos su pequeño tamaño de grano, la fuerte orientación preferencial y los finos intercrecimientos con cristales de mica hacen difícil la medida de propiedades tales como índices de refracción, birrefringencia o ángulo 2V. En este trabajo se propone el desarrollo de métodos de estudio válidos para tales casos, basados en propiedades ópticas simples, determinables fácilmente. Se ha observado el color e intensidad del pleocroísmo, el color de interferencia<sup>1</sup> y los signos óptico y de elongación. En aquellas muestras en que su tamaño de grano lo ha hecho posible, se ha medido el retardo con el compensador de Berek y se ha calculado su birrefringencia. Estas propiedades se han relacionado con la composición química de cada muestra, determinada mediante microsonda electrónica y/o difracción de Rayos X, según la metodología de Nieto y Rodríguez Gallego (1983).

## RESULTADOS

A partir del color de interferencia, signo óptico y signo de elongación se han definido diez tipos ópticos de cloritas. La Tabla I recoge dichas características ópticas, así como el valor medio de la birrefringencia de las muestras que se han podido medir para cada uno de los tipos. Asimismo se dan los valores de la media y la desviación estándar de la razón F/FM para cada uno.

El color por transmisión varía desde incoloro a verde, con todos los matices intermedios. Las muestras incoloras coinciden con las de los tipos I y II de la Tabla I, y para el resto, la intensidad del color crece progresivamente conforme lo hace el parámetro F/FM, oscilando desde sólo ligeramente verdosas para el tipo III, hasta fuertemente coloreadas para el tipo XI.

Las muestras coloreadas son pleocroicas, verdes para la dirección del máximo alargamiento y blancas verdosas (las de signo óptico positivo) o amarillas verdosas (las de signo óptico negativo) para la dirección perpendicular. Se ha apreciado también la intensidad de variación de dicha propiedad, diferenciando tres tipos en relación al pleocroísmo: nulo, débil y fuerte. La figura 1 representa la relación de dicha propiedad con los tipos ópticos definidos en la Tabla I, así como con el contenido en Fe. Se pueden observar cuatro zonas de predominio. La primera, de pleocroísmo nulo o débil, corresponde en líneas generales a las muestras incoloras o con muy poco color. La segunda zona de pleocroísmo débil, se puede relacionar con las cercanías

<sup>1</sup> El color de interferencia se refiere en todos los casos a un espesor de 0,03 mm. controlado mediante un compensador de Berek, sobre el cuarzo presente en las láminas.

**TABLA I.** Tipos ópticos de cloritas y su relación con el grado de sustitución Fe por Mg.

Características ópticas					Valores Estadísticos			
					F/FM			
Tipo	s. óptico	s. elongc.	color de interf.	birrefring. media	n	$\bar{x}$	$\sigma x$	N.º Microfotografía
I	+	—	Amarillo I	0,015	2	0,06	0,00	
II	+	—	Gris I	0,007	7	0,19	0,04	1
III	+	—	Verde grisáceo	0,006	6	0,26	0,04	2
IV	+	—	Verde	0,005	33	0,30	0,04	3-4
V	+	—	Verde marrón	0,004	12	0,33	0,03	5
VI	+	—	Marrón verdoso	0,002 <sub>5</sub>	9	0,36	0,04	6
VII	+	—	Marrón	0,001 <sub>5</sub>	19	0,40	0,05	7-8-9
VIII			Isótropas		5	0,46	0,03	
IX	—	+	Violetas	0,000 <sub>5</sub>	5	0,49	0,02	10
X	—	+	Azules	0,001 <sub>5</sub>	5	0,65	0,05	11

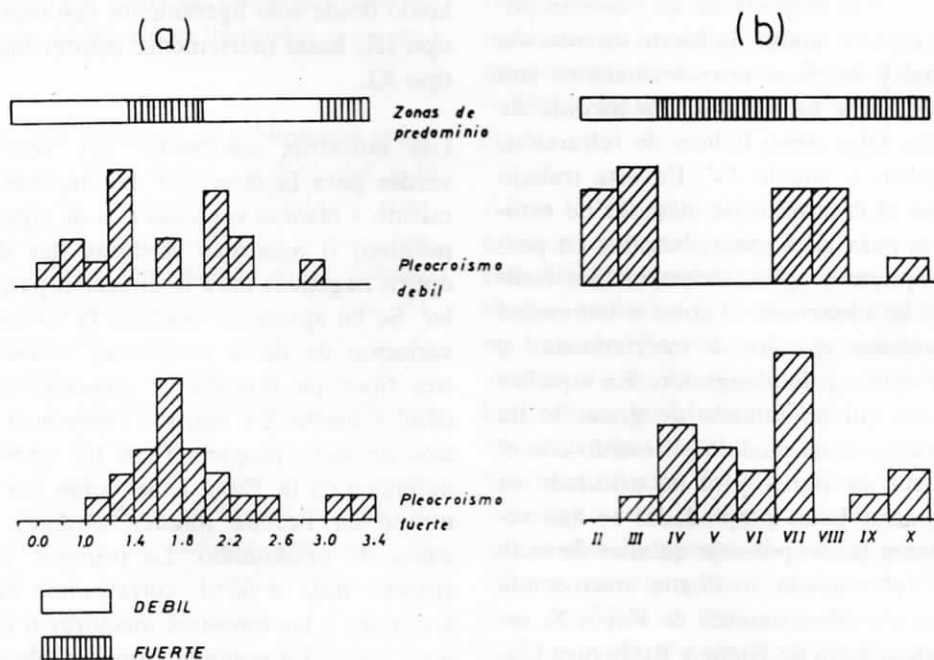
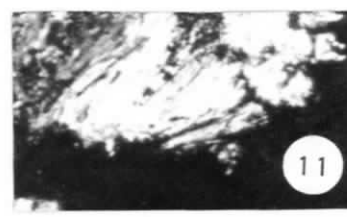
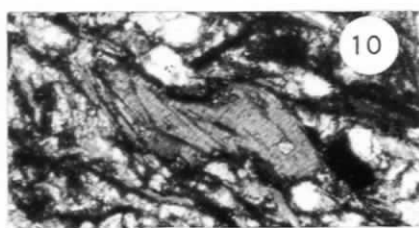
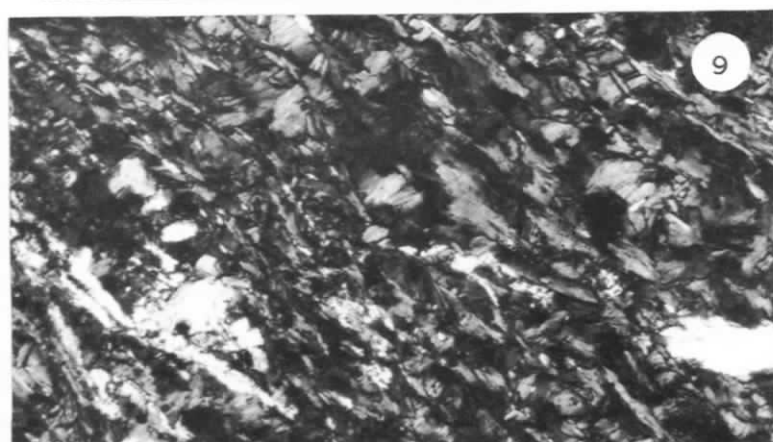
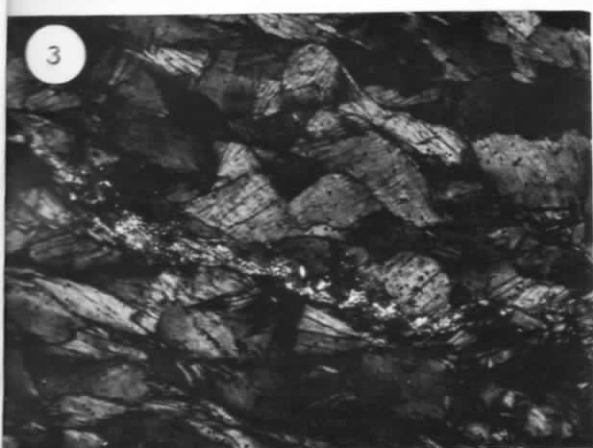
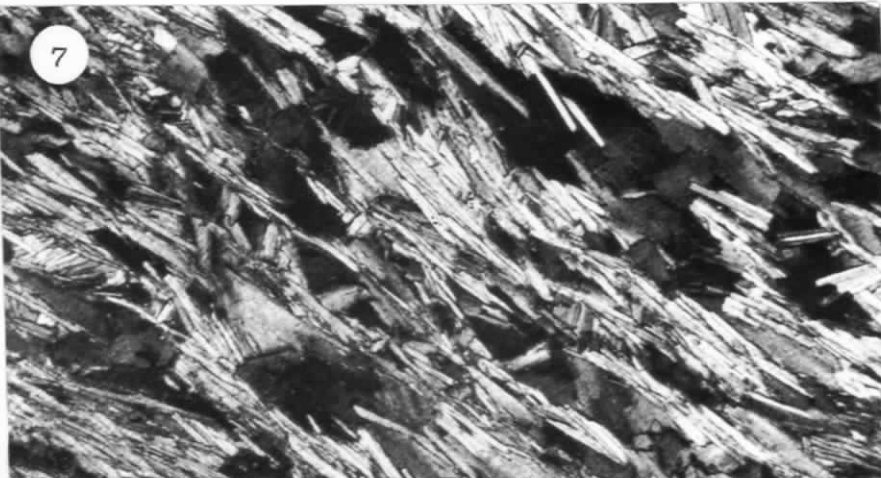
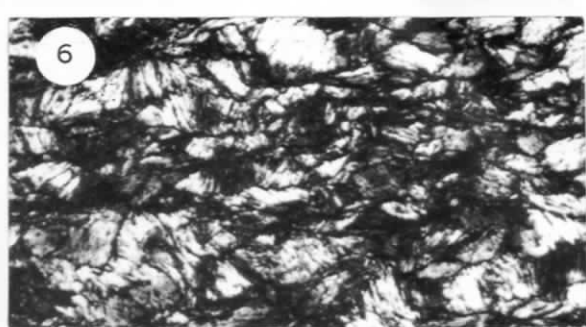
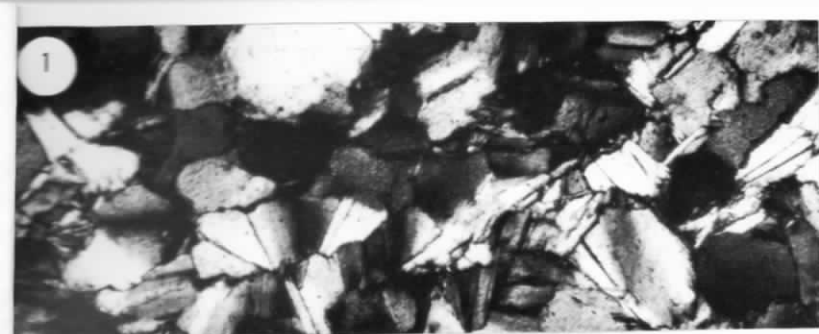
**FIGURA 1.** Frecuencia de aparición de cloritas con pleocroísmos fuertes y débiles o nulos en relación a: a) Contenido en Fe; b) Tipo óptico de la Tabla I.

Foto en color: Ejemplos de los tipo ópticos de cloritas descritos en la Tabla I.





del cambio de signo óptico en el tipo VIII (isótropas), que al presentar diferencias mínimas o nulas entre los índices de refracción, presentan asimismo muy pocas diferencias en sus curvas de absorción selectivas.

El ángulo 2V es difícil de apreciar debido a la orientación preferencial, al pequeño tamaño de grano y a los intercrecimientos con micas blancas; no obstante, en los casos en que se ha podido observar es de 0° o muy cercano.

## INTERPRETACION Y CONCLUSIONES

Los estudios previos sobre el tema, recogidos en el apartado de antecedentes, coinciden en la importancia de la sustitución de Fe por Mg, como determinante de las propiedades ópticas de la clorita. Los datos recogidos en la Tabla I la confirman plenamente y ofrecen la posibilidad de realizar una aproximación al valor de F/FM en base a propiedades simples cualitativas como color de interferencia y signo de elongación, apreciables sobre cristales, incluso muy pequeños.

Las interpretaciones de Albee (1962) por una parte y Hey (1954) y Saggerson y Turner (1982) por otra, difieren en la importancia del papel que juega la sustitución Si por Al. Mientras que para el primero, este último parámetro no tiene influencia apreciable sobre las propiedades ópticas, los últimos encuentran correlaciones matemáticas que relacionan aquéllas tanto con la F/FM como con la sustitución Si/Al. Lo que no se menciona en ninguno de los casos es que ambas características químicas de la clorita no son totalmente independientes, sino que se encuentran relacionadas entre sí, tendiendo a ser mayor la cantidad de Al a medida que aumenta la relación

F/FM (Bayley y Brown, 1962; Bayley, 1976, Nieto 1982). Por tanto, el tratamiento estadístico de los datos, para estudiar la influencia de ambos parámetros sobre las propiedades ópticas no se podrá hacer nunca considerándolos independientemente, ya que siempre va a existir una interdependencia de ambos. Esta relación es, por otra parte, mucho más marcada cuando se estudian muestras de un mismo ambiente y condiciones de formación relativamente semejantes.

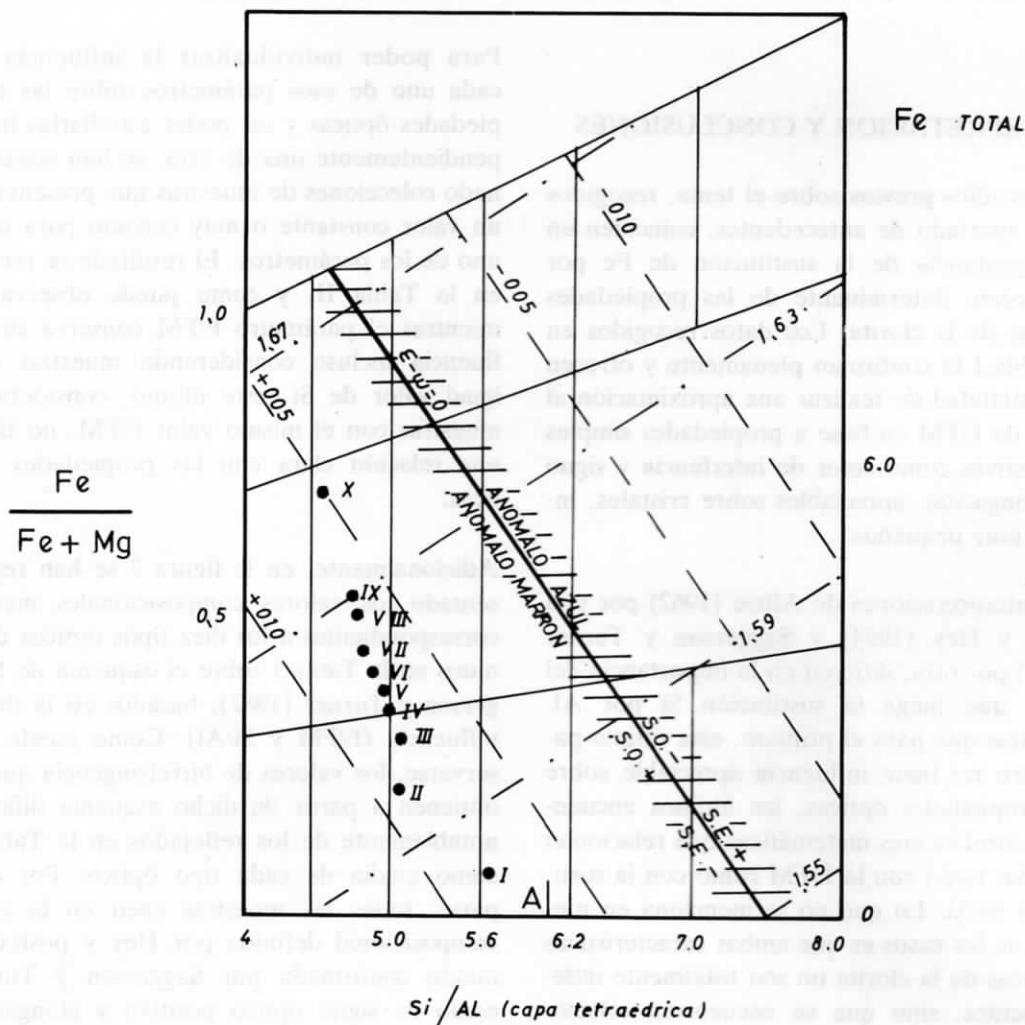
Para poder individualizar la influencia de cada uno de esos parámetros sobre las propiedades ópticas y así poder estudiarlas independientemente una de otra, se han seleccionado colecciones de muestras que presentarán un valor constante o muy cercano para cada uno de los parámetros. El resultado se recoge en la Tabla II, y como puede observarse, mientras el parámetro F/FM conserva su influencia incluso considerando muestras con igual valor de Si, este último, consideradas muestras con el mismo valor F/FM, no tiene una relación clara con las propiedades ópticas.

Adicionalmente, en la figura 2 se han representado los valores composicionales medios correspondientes a los diez tipos ópticos definidos en la Tabla I sobre el esquema de Saggerson y Turner (1982), basados en la doble influencia (F/FM y Si/Al). Como puede observarse, los valores de birrefringencia que se obtienen a partir de dicho esquema difieren notablemente de los reflejados en la Tabla I como media de cada tipo óptico. Por otra parte, todas las muestras caen en la zona composicional definida por Hey y posteriormente confirmada por Saggerson y Turner como de signo óptico positivo y elongación negativa, y relativamente alejadas de la línea de cambio de signo; sin embargo, casi todas

**TABLA II**

A-Valores de F/FM para muestras con un valor cte. de Si (2.4-2.5)			B-Valores de Si para muestras con un valor cte. de F/FM (0.34-0.39)		
Tipo (1)	Relación F/FM		Tipo (1)	Contenido en Si	
	$\bar{x}$	$\sigma x$		$\bar{x}$	$\sigma x$
III	0.26	0.00	IV	2.49	0.05
IV	0.32	0.04	V	2.49	0.07
V	0.35	0.03	VI	2.49	0.04
VI	0.35	0.02	VII	2.48	0.01
VII	0.39	0.07			
VIII	0.45	0.03			
IX	0.49	0.03			
X	0.69	0.00			

(1) Según están definidos en la Tabla I.



**FIGURA 2.** Aplicación del gráfico propuesto por Saggerson Y Turner (1982) a los tipos ópticos definidos en la Tabla I. Los puntos corresponden a los valores composicionales medios de cada tipo.

presentan colores anómalos de interferencia, las del tipo VII son isótropas y los tipos IX y X presentan signo óptico negativo y elongación positiva. Por tanto, los resultados obtenidos mediante la aplicación del gráfico no se ajustan en absoluto a los casos reales. En cambio, si se representan nuestros valores en el esquema de Albee (1962), basado exclusivamente en la relación F/FM, se observa que existe un acuerdo notablemente mayor, como queda de manifiesto en la Tabla III.

Por otra parte, y desde un punto de vista teórico, las modificaciones de los índices de refracción con la composición química deben ser consecuencia directa de las diferencias en las polarizabilidades atómicas de los elementos que se sustituyen (Bloss, 1970), por tanto la sustitución de Fe por Mg elementos con diferente número de capas electrónicas ha de tener necesariamente un efecto netamente superior a la de Si por Al, que presentan el mismo número de capas.

Parece claro, pues, tanto desde el punto de vista teórico, como a partir de los datos aportados en este trabajo, que el esquema que mejores resultados da es el de Albee (1962). De

acuerdo, pues, con este autor y con los resultados aquí obtenidos, se puede conseguir una aproximación bastante buena al valor del grado de sustitución de Fe por Mg.

Por ello cuando el tamaño de grano y la orientación preferencial no permitan la medida de propiedades como la birrefringencia o índice de refracción, la adscripción de la muestra a uno de los tipos ópticos representados en la figura 3, a partir del color de interferencia y signo de elongación permitirá obtener una idea del campo de composiciones en que se mueve la muestra. La intensidad del pleocroísmo ofrece un dato suplementario que puede permitir precisar algo más la información a partir de la figura 1.

No obstante, hay que tener en cuenta, en cualquier caso, que las apreciaciones que se pueden hacer exclusivamente a partir de propiedades ópticas, sólo ofrecen una idea aproximada de la composición de la clorita y se pueden encontrar sujetas a márgenes de error elevados para algunas muestras, tal y como puede comprobarse con las desviaciones estándar recogidas en la Tabla I. Son numerosas las variables que intervienen en la

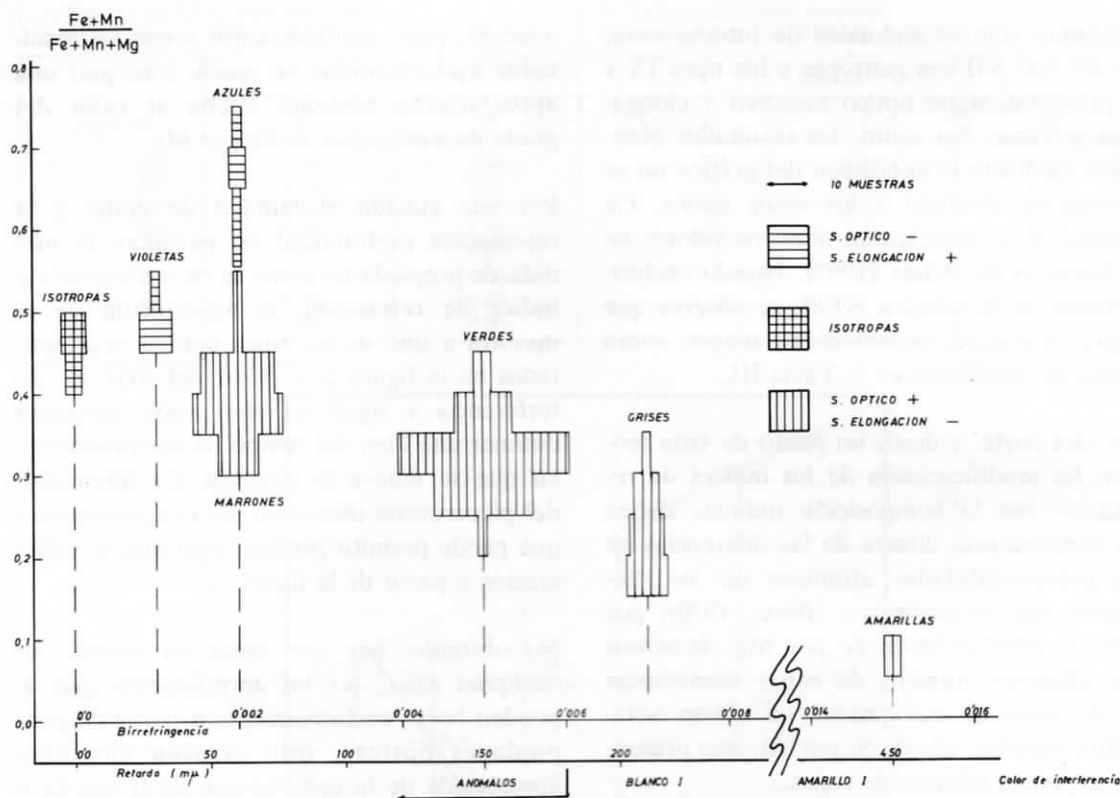
**TABLA III.** Test de los resultados obtenidos mediante el gráfico de Albee (1962).

Tipo óptico	Birrefringencia media (1)	Valor F/FM medio (1)	Valor F/FM Albee, 1962 (2)
I	0.015	0.06	0.00
II	0.007	0.19	0.22
III	0.006	0.26	0.26
IV	0.005	0.30	0.30
V	0.004	0.33	0.35
VI	0.0025	0.36	0.41
VII	0.0015	0.40	0.46
VIII	0.000	0.46	0.52
IX	0.0005	0.49	0.54
X	0.0015	0.65	0.58

(1) Según Tabla I.

(2) Calculado a partir del valor de la birrefringencia.





**FIGURA 3.** Relación entre la composición química de la clorita y sus características ópticas. Los nombres de cada tipo se refieren al color de interferencia. Son anómalos todos aquellos que presentan retardos inferiores al gris.

composición de la clorita y algunas, especialmente el número de huecos y el contenido de  $\text{Fe}^{3+}$ , modifican sustancialmente las propiedades de la misma. Sin embargo, parece claro que este método rápido y fácil de aplicar puede suponer una importante ayuda en la determinación óptica de cloritas.

Finalmente, los criterios aquí propuestos permiten una aplicación fácil y especialmente natural de la clasificación de la AIPEA (Bailey, 1980). Dicha clasificación se basa en el catión mayoritario de la capa octaédrica y reduce los

términos de clorita a clinocloro para contenido mayoritario en Mg y chamosita para el término ferroso, a parte de los casos menos frecuentes con Mn o Ni,

En la Tabla IV, se propone la aplicación de la clasificación de la AIPEA, mediante los criterios ópticos simples descritos en los apartados anteriores, aceptando la recomendación de dicho organismo sobre el uso de adjetivos en adición a los dos nombres básicos, cuando la calidad de las observaciones así lo permita.

# DETERMINACION DE CLORITAS EN ROCAS METAMORFICAS

TABLA IV. Clasificación y composición de cloritas a partir de sus características ópticas.

Color interf.	Birref. media	signo óptico	signo elong.	F/FM	Fórmula tipo	Nombre (1)
Amarillo I	0,015	+	—	0,05	$(\text{Si}_{2,8} \text{Al}_{1,2}) \text{O}_{10} (\text{Mg}_{4,6} \text{Fe}_{0,2} \text{Al}_{1,2})(\text{OH})_8$	Clinocloro muy pobre en Fe
Gris I	0,007	+	—	0,2	$(\text{Si}_{2,6} \text{Al}_{1,4}) \text{O}_{10} (\text{Mg}_{3,8} \text{Fe}_{1,0} \text{Al}_{1,2})(\text{OH})_8$	Clinocloro pobre en Fe.
Ano. Verde	0,005	+	—	0,3	$(\text{Si}_{2,5} \text{Al}_{1,5}) \text{O}_{10} (\text{Mg}_{3,4} \text{Fe}_{1,4} \text{Al}_{1,2})(\text{OH})_8$	Clinocloro
Ano. Marrón	0,002	+	—	0,4	$(\text{Si}_{2,4} \text{Al}_{1,6}) \text{O}_{10} (\text{Mg}_{2,8} \text{Fe}_{2,0} \text{Al}_{1,2})(\text{OH})_8$	Clinocloro ferroso
Isotropía	0			0,45	$(\text{Si}_{2,4} \text{Al}_{1,6}) \text{O}_{10} (\text{Mg}_{2,6} \text{Fe}_{2,2} \text{Al}_{1,2})(\text{OH})_8$	Clinocloro muy ferroso
Ano. Violeta	0,001	—	+	0,5	$(\text{Si}_{2,4} \text{Al}_{1,6}) \text{O}_{10} (\text{Mg}_{2,4} \text{Fe}_{2,4} \text{Al}_{1,2})(\text{OH})_8$	Chamosita muy magnésica
Ano. Azul	0,002	—	+	0,65	$(\text{Si}_{2,2} \text{Al}_{1,8}) \text{O}_{10} (\text{Mg}_{1,6} \text{Fe}_{3,0} \text{Al}_{1,4})(\text{OH})_8$	Chamosita magnésica
Gris I	0,007	—	+	0,8		Chamosita
Amarillo I	0,015	—	+	0,95		Chamosita muy pobre en Mg

(1) Según clasificación de la AIPEA.

## AGRADECIMIENTOS

A la profesora P. Fenoll, por la crítica y discusión del manuscrito, así como por la elaboración de las microfotografías. A los profesores F. Aldaya y M. T. Gómez Pugnaire, por las muestras facilitadas.

## BIBLIOGRAFIA

- ALBEE, A. L. (1962) Relationships between the mineral association, chemical composition and physical properties of chlorite series. *Am. Mineral.* 47, 751-870.
- BAILEY, S. W. y BROW, B. E. (1962) Chlorite polytypism I. Regular and semirandom one layer structures. *Am. Mineral.* 48, 819-850.
- BAILEY, S. W. (1976) Chlorites. In *Soil components v. 2* (J. E. Gieseking, Ed.). Springer-Verlag, 191-263.
- BAILEY, S. W. (1980) Summary of recommendation of AIPEA nomenclature committee. *Clay Minerals.* 15, 85-93.
- BLOSS, F. D. (1970) *Introducción a los métodos de Cristalografía Óptica*. Ed. Omega, S. A. 320 p.
- DEER, W. A., HOWIE, R. A. y ZUSSMAN, J. (1966). *An introduction to Rock-Forming Minerals*. Longmans, Londres. 528 p.
- HEY, M. H. (1954) A new review of the chlorites. *Mineral. Mag.* 30, 277-292.
- NIETO, F. (1982) Las cloritas de las Cordilleras Béticas. Tesis Doctoral. Secret. Public. Univ. de Granada, 249 p.
- NIETO, F. y RODRIGUEZ GALLEGO, M. (1983) Metodología para el estudio de la clorita en rocas metamórficas. *Rend. Soc. Ital. Miner. Petrol.* 38 (3), 1429-1436.
- ORCEL, J. (1927) Recherches sur la composition chimique des chlorites. *Bull. Soc. Franc. Min.* 50, 75-456.
- SAGGERSON, E. P. y TUNER, L. M. (1982) General comments on the identification of chlorites in thin sections. *Mineral. Mag.* 46, 469-473.
- SERDYUCHENKO, D. P. (1953) Chlorites; Their chemical composition and classification. *Trudy Inst. Geol. Nauk*, 140, Mineral-Geochem. Ser. (n.º 14).
- WINCHELL, A. N. (1963) A third Study of chlorite. *Am. Mineral.* 21, 642-651.